

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a**  
**informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2009/2010

Tomáš Kubačák

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a**  
**informatiky**  
**Katedra Elektroenergetiky**

**Výpočet spolehlivosti dodávky elektrické  
energie**

**Calculation of electricity supply reliability**

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc.Ing. Radomíru Goňovi, Ph.D za výbornou spolupráci při řešení a konzultování mých častých dotazů.

7.5.2010

podpis:

## Seznam použitých symbolů a zkratek

IEEE RTS .....	spolehlivostní testovací systém (IEEE Reliability Test System)
DS .....	distribuční síť
ES .....	elektrizační soustava
PS .....	přenosová soustava
PPDS .....	pravidla provozování distribučních sítí
ERÚ .....	energetický regulační úřad
HDO .....	hromadné dálkové ovládání
REAS.....	regionální akciové společnosti
ČEZ .....	česká energetická společnost
MS excel.....	tabulkový editor (Microsoft Office Excel)
$\lambda_P$ .....	četnost (intenzita) poruchových výpadků (rok <sup>-1</sup> )
$\tau_P$ .....	střední doba poruchového prostoje (h)
$\lambda_U$ .....	četnost (intenzita) údržby (rok <sup>-1</sup> )
$\tau_u$ .....	střední doba údržbového prostoje (h)
$T_{max}$ .....	doba využití maxima v uzlu (hod/rok)

# **Obsah:**

## **1. Úvod**

## **2. Teoretický rozbor výpočtu spolehlivosti**

- 2.1. Získávání vstupních údajů pro výpočet spolehlivosti sítí
  - 2.1.1. Základní členění
  - 2.1.2. Poruchové databáze a databáze výpadků
  - 2.1.3. Vstupní spolehlivostní údaje z kvalifikovaného odhadu
- 2.2. Číselné vyjádření spolehlivosti
- 2.3. Metody výpočtu spolehlivosti
  - 2.3.1. Metodika spolehlivostních schémat
  - 2.3.2. Modifikovaná metodika spolehlivostních schémat
  - 2.3.3. Metody stimulační (Metoda Monte-Carlo)

## **3. Současná legislativa**

- 3.1. Pravidla provozování distribučních soustav, příloha číslo 2.
- 3.2. Vyhláška č. 540-2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice

## **4. Popis programu E-vlivy a programu Spoleh**

- 4.1. Program E-vlivy
- 4.2. Program Spoleh

## **5. Výpočet spolehlivosti daných oblastí**

- 5.1. Oblast č. 1.
- 5.2. Oblast č. 2
- 5.3. Oblast č. 3
- 5.4. Oblast č. 4

## **6. Závěr**

## 1. Úvod

Spolehlivost je pojmem, který se často užívá při posuzování různých systémů, výrobků atd. Definovat spolehlivost není již tak jednoduché. Základní teorii spolehlivosti uvádí norma ČSN 01 0102: Spolehlivost je obecná vlastnost objektu, spočívající ve schopnostech plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a včas podle stanovených technických podmínek.

Některé další definice se uvádějí v literaturách, které se zabývají vymezením spolehlivosti. Např. Sdružení elektronického průmyslu EIA (Electronic Industrie Association) definuje spolehlivost takto: Spolehlivost je pravděpodobnost, že činnost zařízení bude během určité doby a v daných provozních podmínkách přiměřená účelu zařízení.

Spolehlivost elektroenergetické soustavy a konkrétně elektrických sítí je v současné době stále více diskutovanou záležitostí. V době, kdy jednotlivé rozvodové akciové společnosti plně odpovídají za kvalitní dodávku energie odběratelů, vstupuje do hry tzv. nedodaná energie a její ocenění. Výpočet pravděpodobně nedodané energie je možný právě pouze z výsledků spolehlivostních výpočtů.

V této práci jsem se zabýval teoretickým rozбором výpočtu spolehlivosti elektrických sítí a také praktickým výpočtem spolehlivosti v daných oblastech.

V první kapitole jsou popsány metody získání vstupních údajů pro spolehlivostní výpočty a dále pak rozepsány samotné metody výpočtu. Podrobněji je pak popsána simulační metoda (Metoda Monte-Carlo), kterou jsem využíval při praktickém výpočtu spolehlivosti v daných oblastech za pomoci programů Spoleh a programu E-vlivy. Popis programů Spoleh a E-vlivy a výpočty daných oblastí pak naleznete v další kapitole. V další kapitole jsem se zaměřil na současnou legislativu. Je zde zmíněna vyhláška č 540-2005 Sb o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Dále pak obsahuje PPDS (pravidla provozování distribuční sítě), zejména pak přílohu č. 2, tzn. metodiku určování plynulosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí.

## 2. Teoretický rozbor výpočtu spolehlivosti

[2]

Většina spolehlivostních výpočtů probíhá tak, že ze znalosti spolehlivosti jednotlivých prvků systému je proveden výpočet celkové spolehlivosti systému. Proto mají výpočty spolehlivosti dvě fáze. První fázi představuje získání vstupních spolehlivostních údajů, druhá fáze pak představuje samotný výpočet spolehlivosti. V další fázi pak mohou být zhodnoceny výsledků výpočtu spolehlivosti, popř. stanovení opatření pro výpočet spolehlivosti. Všechny tyto fáze výpočtu jsou níže rozebrané a popsány. Mnoho odborníků se shoduje na tom, že ve většině případů je mnohem složitější a pracnější získat hodnověrná spolehlivostní data, než-li provést samotný spolehlivostní výpočet.

### 2.1. Získávání vstupních údajů pro výpočet spolehlivosti sítí

#### 2.1.1. Základní členění

Metodiky pro získávání vstupních dat jsou rozdílné, vycházejí z druhu zkoumaného objektu, z dostupných údajů o zkoumaném objektu atd.

Podle způsobu získání vstupních dat pro výpočet lze spolehlivost rozdělit do dvou základních skupin:

- **Spolehlivost empirická** - vstupní údaje pro výpočet spolehlivosti jsou získány z údajů o činnosti daného zařízení nebo podobného zařízení, které pracuje v podobných podmínkách. Pro tuto spolehlivost je zapotřebí mít údaje o chodu a poruchách prvků, které se v soustavě vyskytují. Čím jsou tyto údaje širší, tím jsou údaje z ní získané věrohodnější. Patří sem zejména prvky elektroenergetické soustavy jako jsou vypínače, odpínače, vedení, transformátory apod. dle napěťové hladiny a konkrétního prvku. Je ovšem také nutné mít údaje o počtu a rozsahu zkoumaného zařízení. Nejde tedy pouze o údaj např. o počtu poruch a stření době poruchy vedení daného typu a dané napěťové hladiny, ale o údaje o celkovém rozsahu sledovaného zařízení, tzn. v tomto případě o celkové délce vedení daného typu a dané napěťové hladiny. Základem pro výpočet empirické spolehlivosti je tedy sledování poruchovosti elektroenergetické soustavy.
- **Spolehlivost apriorní** – vstupní údaje jsou určeny „předem“, a to tak, že ze znalostí stavů daného objektu se vyjádří pravděpodobnost bezporuchového chodu. Apriorní spolehlivost prvků elektroenergetického rozvodu je provozní spolehlivost prvků při jeho nasazení do provozu, která je určena, aniž jsou známy údaje o poruchách prvků stejného typu. Jde o určení spolehlivostních veličin přímo od výrobce. Znamená to, že optimální dobu mezi revizemi, intenzitu poruch atd. by bylo možno určit pouze z údajů výrobce. Otázka apriorní spolehlivosti nemůže být řešena obecně pro všechny prvky, protože každý prvek má jinou konstrukci, funkci atd. Proto se musí apriorní spolehlivost řešit pro každou část prvku elektroenergetické soustavy zvlášť. Nekorektní data by pak vedly samozřejmě k chybným výsledkům i za použití správné početní metody.

Pro získání vstupních údajů se většinou používá empirická metoda, protože apriorní metoda vyžaduje rozdílný přístup ke každému z prvků elektroenergetické soustavy. Empirické metody ovšem

vyžadují přesné záznamy o poruchách. Aby byla daná poruchová databáze statisticky významná, vyžaduje to mít k dispozici údaje o poruchách za mnoho let zpět.

Z analýzy těchto databází lze pak stanovit základní spolehlivostní údaje jednotlivých prvků:

**Pro intenzitu poruch je možno napsat následující vztah:**

$$\lambda = \frac{N}{Z \cdot X} \quad (\text{rok}^{-1})$$

kde:

$N$  ..... je počet poruch (-),

$Z$  ..... je počet příslušného typu v síti (-),

$X$  ..... je délka sledovaného období (rok).

**Pro intenzitu poruch vedení (za předpokladu rovnoměrného rozdělení četnosti poruch na jednotku délky vedení) platí vztah:**

$$\lambda = \frac{N}{L \cdot 0,01 \cdot X} \quad (\text{rok}^{-1} / 100 \text{ km})$$

kde:

$N$  ..... je počet poruch (-),

$L$  ..... je délka vedení příslušného typu (km),

$X$  ..... je délka sledovaného období (rok).

**Pro střední dobu poruchy platí:**

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N_p} \quad (h)$$

kde:

$N_p$  ..... je počet poruch prvku příslušného typu (-),

$\tau_i$  ..... je doba poruchy prvku příslušného typu (h).

Sledované období se obvykle volí podle konkrétních požadavků výpočtu spolehlivosti. K výpočtu intenzity poruch je nutno také znát počet prvků daného typu v dané oblasti, jejíž poruchovost byla sledována. Pro určování vstupních spolehlivostních parametrů je ovšem nutné předpokládat, že počty prvků jednotlivých typů se za sledované období v síti nemění. Tento předpoklad platí v praxi jen přibližně.



### 2.1.2. Poruchové databáze a databáze výpadků

[1]

O spolehlivosti elektroenergetické soustavy se začalo hovořit až v průběhu 60. let minulého století. Přelomem ve sledování spolehlivosti byl rok 1974, kdy vyšla „Provozně technická pravidla ČEZ a STEP 2/74. Tyto pravidla sjednotila sledování poruch, výpadků a porušených prvků pro všechny rozvodné závody v celém Československu. To mělo za následek v roce 1975 vznik exkluzivní databáze poruch a výpadků. Technická stránka databáze byla úměrná době jejího vzniku, celková databáze byla ukládána ve formě textových souborů. To pochopitelně stěžovalo práci s databází, jednotlivé výběry byly zdoluhavé a mnoho zpracování se muselo dělat ručně z jednotlivých tiskových sestav. Přesto tato databáze byla a je velmi cenným podkladem k určování spolehlivosti. Vlivem společenských změn, přestala být tato databáze plněna a udržována. Jednotlivé rozvodné podniky (později akciové společnosti - dále jen REAS) získaly samostatnost a začaly zavádět vlastní systémy sledování spolehlivosti.

Dosud se pro spolehlivostní výpočty používají vstupní údaje, které vychází z přílohy vyhlášky 22/80 ČEZ (viz tab. 1). Je jasné, že tyto údaje jsou již zastaralé a je nutné je aktualizovat.

**Tabulka 1: Vstupní spolehlivostní hodnoty podle 22/80 ČEZ**

prvek	napětí (kV)	$\lambda_p$ (rok <sup>-1</sup> )	$\tau_p$ (h)	$\lambda_U$ (rok <sup>-1</sup> )	$\tau_U$ (h)
transformátor	400/220	0,04	300	1	360 (120)
	400/110	0,1	6500	1	240
	220/110	0,02	30	1	360 (120)
	110/vn	0,04	1300	1	120
	vn/nn	0,03	2500	1	60
venkovní vedení	400	1,6 / 100 km	7	1	1,7 / km
	220	2,3 / 100 km	6	1	2 / km
	110	5,2 / 100 km	3,5	1	4 / km
	22	14,0 / 100 km	3	1	2 / km
kabelové vedení	110	2 / 100 km	50	0	0
	22	14,5 / 100 km	215	0	0
vypínač (vývod)	400	0,015	250	1	360 (36)
	220	0,012	150	1	120 (36)
	110	0,010	100	1	60 (30)
	22	0,015	30	1	16 - skříň 10 - kobka

Pozn.: Údaj v závorce u transformátorů platí, je-li k dispozici náhradní jednotka.

Údaj v závorce u vypínačů platí, je-li pomocná přípojnice.

Tabulka udává spolehlivostní parametry prvků podle směrnice ČEZ. Jedná se vlastně o jediný dostupný soubor vstupních spolehlivostních údajů. Udávají se zde totožné spolehlivostní údaje pro vypínač a vývod, protože vypínač je nejdůležitějším prvkem rozvodny z hlediska spolehlivosti, tedy z největší části určuje spolehlivost vývodu.

Tyto údaje platily v rámci celého ČEZ bez přihlédnutí ke specifickým podmínkám každého rozvodného energetického podniku. S použitím znalostí o systému databáze poruch je ovšem možno tyto spolehlivostní údaje upřesnit a rozdělit podle libovolných pravidel.

Problematickou spolehlivosti se koncem 90. let minulého století začala zabývat skupina při ČK CIRED. Na zasedání této skupiny se pak rozhodlo, že se začne tvořit nová společná metodika

zaznamenávání poruch a výpadků dodávky. Konečná verze byla vytvořena v roce 1999 a později byla převzata do Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS). Bylo rozhodnuto, že REAS budou jednotně sledovat globální ukazatele spolehlivosti a také spolehlivost vybraných prvků. Data nezbytná pro analýzu se budou shromažďovat na vědeckém pracovišti katedry elektroenergetiky VŠB – TU Ostrava, kde se bude zpracovávat také prvková spolehlivost. Data o poruchách a výpadcích dodávky jsou dodávána z devíti REAS. Databáze v současné době (do roku 2005) obsahuje přes 400 tis. záznamů na napětových hladinách 110 kV, vn a částečně i nn.

Jelikož u poruch jednotlivých prvků jsou k dispozici údaje o výrobcí a roku výroby, je možno vyhodnocením poruchové databáze odhalit např. série výrobků, kde je zvýšená poruchovost a zřejmě tedy došlo k výrobní chybě. Rovněž tuto situaci je možno odhalit pouze z rozsáhle databáze a nikoliv z jediného REAS. Vyhodnocení vadné série může včas „varovat“ REAS a zabránit tak zbytečným investičním ztrátám, nebo se vyhnout dlouhodobému reklamačnímu procesu. Vyhodnocením této databáze bude v dohledné době možno nahradit (zpřesnit) vstupní spolehlivostní koeficienty, a tak postupně nahradit údaje z přílohy vyhlášky 22/80 ČEZ. Pro některé typy prvků jsou nové spolehlivostní údaje k dispozici v tab. 2

**Tabulka 2: Nové spolehlivostní parametry v porovnání s ČEZ 22/80**

Poškozené zařízení		ČEZ 22/80	Nová databáze 1999-2005
Kabel 22 kV	$\lambda$ (rok <sup>-1</sup> )	14,5	4,839
	$\tau$ (h)	215	80,693
Vodič 22 kV	$\lambda$ (rok <sup>-1</sup> )	14	3,623
	$\tau$ (h)	3	18,759
Vodič 110 kV	$\lambda$ (rok <sup>-1</sup> )	5,2	0,282
	$\tau$ (h)	3,5	3,155
Transformátor vn/nn	$\lambda$ (rok <sup>-1</sup> )	0,03	0,008
	$\tau$ (h)	2500	12,911
Transformátor 110 kV/nn	$\lambda$ (rok <sup>-1</sup> )	0,04	0,048
	$\tau$ (h)	1300	74,892
Vypínač výkonový 22 kV	$\lambda$ (rok <sup>-1</sup> )	0,015	0,006
	$\tau$ (h)	30	40,744
Vypínač výkonový 110 kV	$\lambda$ (rok <sup>-1</sup> )	0,01	0,012
	$\tau$ (h)	100	60,649

Jedná se zatím o předběžné výsledky, protože u vyhodnocování prvkové spolehlivosti se dosud vychází z databází, které ještě nemají dostatečnou statistickou významnost, statistické významnosti dosáhnou zhruba po deseti letech společného plnění.

### 2.1.3. Vstupní spolehlivostní údaje z kvalifikovaného odhadu

[1]

Jedná se o přístup k „empirické spolehlivosti“ představuje vyhodnocení několikaleté databáze výpadků a poruch s použitím pasportizace zařízení (průvodní dokumentace k zařízení se všemi charakteristickými údaji). Výsledkem jsou pak spolehlivostní údaje, které z této databáze vyplývají.

Tyto údaje většinou nejsou časově závislé, protože ve většině případů nejsou k dispozici údaje o stáří porušených prvků.

Podstatou této metodiky byla dotazníková akce, při které byli osloveni zkušení odborníci z energetické praxe. Především odborníci z diagnostiky, dispečinků a údržby. Protože je velmi složité odhadovat intenzity poruch a střední doby poruch v časové závislosti pravděpodobnosti bezporuchového chodu, měli určit na „kolik procent“ je prvek spolehlivý po určité době provozu.

## 2.2. Číselné vyjádření spolehlivosti

[2]

Číselné vyjádření spolehlivosti může být velmi různé podle toho, z jakých vstupních údajů se vychází a jaké metodiky se použijí.

Nejběžnějším vyjádřením spolehlivosti je:

- intenzita poruch  $\lambda$  (rok)<sup>-1</sup>,
- střední doba trvání poruchy  $\tau$  (h),
- pravděpodobnost poruchy  $Q$  (-)
- střední doba mezi poruchami  $t_s$  (h)

Intenzita poruch se vyjadřuje v počtu poruch za jednotku času nebo i funkce (u zařízení bývá zpravidla za rok). Střední doba trvání poruchy se udává v hodinách, nebo ve dnech.

Pravděpodobnost bezporuchového chodu a pravděpodobnost poruchy se udává jako poměrné číslo (desetinný zlomek), nebo je udávána v procentech. Tyto hodnoty jsou vztaženy na dobu, za kterou se pravděpodobnost určuje. Pravděpodobnost bezporuchového chodu (nebo poruchy) je i u zařízení s konstantní intenzitou poruch funkcí času, tj. doby na kterou se spolehlivost vztahuje. Součet pravděpodobnosti bezporuchového chodu a pravděpodobnosti téhož systému je roven 1 (100%).

Střední doba mezi poruchami se udává ve dnech nebo letech a je to poměr celkové doby provozu k celkovému počtu poruch za tuto dobu. Střední doba mezi poruchami je úměrná převrácené hodnotě intenzity poruch.

V oblasti spolehlivosti jsou definovány tzv. obnovované a neobnovované objekty (systémy). Neobnovované objekty jsou ty, které jsou neopravitelné nebo ty, u kterých je oprava mnohem nákladnější než výměna. U těchto objektů je střední doba mezi poruchami nahrazena střední dobou do poruchy.

## 2.3. Metody výpočtu spolehlivosti

### 2.3.1. Metodika spolehlivostních schémat

[2]

Základním principem této metodiky je sestavení spolehlivostního schématu, přiřazení příslušných spolehlivostních veličin k jednotlivým prvkům spolehlivostního schématu až na jeden prvek, jehož spolehlivostní parametry jsou výsledné spolehlivostní parametry celého systému, který byl spolehlivostním schématem namodelován. Spolehlivostní schéma má ve většině případů jinou konfiguraci než-li schéma elektrické.

**Mezi hlavní výhody spolehlivostních schémat patří:**

- studované systémy nemusejí ještě vůbec reálně existovat,
- postup řešení je přehledný a matematicky málo náročný,
- matematický postup nevyžaduje integrační výpočet,
- přesnost výsledků je závislá pouze na přesnosti vstupních parametrů výpočtu.

**Metoda spolehlivostních schémat má i však svoje nevýhody:**

- nelze provádět výkonovou bilanci sítě (přetížení větví),
- odbočení typu „T“ je možno modelovat pouze přibližně.

Pro řešení spolehlivosti metodou spolehlivostních schémat nemusí být pro běžné systémy vytvářen vlastní program, obvykle stačí použít tabulkový procesor, ve kterém je naprogramovaný příslušný algoritmus pro sériové a paralelní spolehlivostní řazení.

Metoda spolehlivostních schémat je základní metoda řešení spolehlivosti. Na jejím popisu je zcela patrná souvislost výpočtu spolehlivosti s teorií pravděpodobnosti. Z toho vyplývá, že jev, který nemůže za žádných okolností nastat má pravděpodobnost výskytu 0. A naopak, jev, který v každém nastane má pravděpodobnost výskytu 1. Tyto dva příklady vyjadřují extrémy, kterých je v elektroenergetice možné dosáhnout pouze teoreticky. V případě, že se jedná o dva jevy, které se vzájemně vylučují, je součet pravděpodobností jejich výskytu roven 1. Dalším důležitým pravidlem z teorie pravděpodobnosti je pravidlo o násobení pravděpodobností. Spočívá-li nějaký jev v tom, že nastane určitý počet jednotlivých nezávislých událostí, pak pravděpodobnost tohoto jevu je rovna součinu jednotlivých pravděpodobností všech dílčích jevů. Jsou-li např. dva nezávislé jevy A a B, pak pravděpodobnost, že oba jevy nastanou současně, lze matematicky vyjádřit:

$$P(A, B) = P(A) \cdot P(B)$$

Kde

$P(A)$ ,  $P(B)$ ..... je pravděpodobnost výskytu jevu A, B.

Toto pravidlo je základním pravidlem pro řešení spolehlivostí různě zapojení prvků. Při řešení spolehlivosti je nutno sestavit tzv. spolehlivostní schéma, ve kterém je každý prvek systému nahrazen jedním nebo více prvky náhradního schématu a je definován svou spolehlivostí. Toto spolehlivostní schéma se dále řeší a určuje se spolehlivost celého systému.

### 2.3.2. Modifikovaná metodika spolehlivostních schémat

[1]

Tato metodika je vlastně aplikací základní metodiky spolehlivostních schémat, která je důsledně aplikovaná na elektroenergetické systémy. Oproti klasické metodice spolehlivostních schémat má tato metodika následující výhody:

- uvažuje údržbové prostoje,
- umožňuje do výpočtu zahrnout i manipulace, uvažuje tedy s tzv. studenými rezervami,
- umožňuje zavedení principu tzv. koordinace údržby.

**Při výpočtu se využívají tyto provozní stavy :**

- provoz,
- poruchový prostoj,
- údržbový prostoj.

**Předpoklady a zjednodušení, které tato metodika využívá:**

- neuvažuje se vliv počasí na intenzitu poruch a oprav,
- neuvažuje se exponenciální rozdělení distribuční funkce dob poruch a oprav pro všechny prvky elektrické sítě,
- vychází se z průměrných údajů.

Metodika umožňuje výpočet spolehlivosti prakticky všech druhů elektrických sítí. Základem této výpočtové metody spolehlivosti je řešení dílčích spolehlivostních zapojení dvou prvků.

**Definována jsou tři zapojení :**

- sériové zapojení,
- paralelní zapojení (horká rezerva),
- paralelní zapojení s manipulací (studená rezerva).

### **2.3.3. Metody stimulační (Metoda Monte-Carlo)**

[1]

Předpokladem stimulačních metod je znalost intenzity výpadku (intenzita poruch + intenzita údržby) a střední doby výpadků všech prvků vyšetřované soustavy. Simulací se rozumí numerická metoda, která spočívá v experimentování s matematickými modely reálných systému na číslicových počítačích.

Jako jedna ze simulačních metod je využívána pro výpočet spolehlivosti simulační metoda Monte-Carlo. V této části je ukázáno její praktické využití v elektrických sítích.

**Výhody simulační metody:**

- studované systémy nemusejí ještě vůbec reálně existovat,
- studovaný systém může být příliš složitý pro použití analytických postupů,
- simulace umožňuje studium chování systému v reálném, zrychleném či zpomaleném čase, Procesy výpadků prvků a jejich opětovného uvádění do provozu jsou značně pomalé, proto se často využívá simulace ve zrychleném čase,
- simulací lze ověřit výsledky získané jinými nezávislými postupy,
- je možno modelovat odbočky typu „T“,
- je provedena jednoduchá výkonová bilance schématu, u přetížených prvků je vždy simulován výpadek.

### Nevýhody simulační metody:

- výstavba užitečného simulačního modelu je značně zdlouhavá, většinou je potřeba vytvořit několik variant modelu,
- simulace je numerická metoda, takže řešení určitého problému obvykle nelze přenést na problémy obdobné,
- výsledky získané ze stochastických simulačních modelů jsou hodnoty náhodných veličin, pokud chceme zvýšit jejich přesnost, klademe značné nároky na jejich spotřebu strojového času,
- přesnost výsledků závisí na počtu interací.

**Význačné rysy** metody Monte-Carlo, které rozhodují o jejím možném použití, jsou zejména tyto:

- Metoda umožňuje určit spolehlivostní vlastnosti objektů, které se více blíží skutečnosti, než je tomu při obvodovém hodnocení
- Metoda umožňuje výpočet spolehlivosti u systému s různorodými podsystemy a s různými rozděleními pravděpodobnosti.
- rozhodující vliv na možnosti použití metody mají zejména nároky na strojový čas počítače a popř. na jeho paměť.

Uvedené důvody předurčují použití simulace metodou Monte-Carlo zejména pro strukturální analýzu vlastností složitých systémů v počátcích jejich návrhu, kdy rozhodujeme o optimálním rozmístění různých typů záloh, strategii obnovy apod.

### PRINCIP METODY MONTE-CARLO

Jedná se o numerický postup stochastického typu, jehož základní myšlenka spočívá v nalezení souvislosti mezi veličinami, které jsou řešením zkoumaného problému a charakteristikami náhodných procesů. Při použití metody Monte-Carlo dostáváme hodnoty, které řeší daný problém pomocí umělé realizace náhodných procesů. Tyto procesy jsou konstruovány tak, aby jejich statistické hodnoty byly hledanými hodnotami.

Pro řešení spolehlivosti elektroenergetických systému je vhodné použití exponenciálního rozložení. Pro výpočty je nejjednodušší a umožňuje kombinovat simulační metody s analytickými.

Každý prvek je charakterizován hodnotou  $\lambda$ , což je střední doba výpadku za jednotku času (v našem případě za rok). Hodnota  $\lambda^{-1}$  tedy udává střední dobu mezi dvěma po sobě jdoucími výpadky. Pravděpodobnost, že interval mezi dvěma po sobě jdoucími výpadky nabude hodnoty  $\Delta T$  pak je

$$P(\Delta T) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot \Delta T}$$

Druhou veličinou reprezentující prvek je údaj o střední době trvání výpadku  $\tau$ .

Generování náhodných veličin a čísel s požadovaným rozložením je jednou z dílčích úloh v procesu simulace. Nejčastěji přicházejí v úvahu exponenciálně rozdělené veličiny.

Pro generování je vhodné použít metodu inverzní transformace, založenou na vztahu:

$$x = F^{-1}(r)$$

kde  $r \in (0,1)$  je náhodné číslo a  $F$  je distribuční funkce požadovaného rozložení.

V případě exponenciálního rozložení po dosazení za  $F$  dostáváme

$$r = 1 - e^{-\lambda x}$$

a po úpravě pak konečný vztah použitelný pro generování

$$x = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(1 - r)$$

Náhodné číslo  $r$  je taková náhodná veličina, která splňuje podmínky  $0 < r < 1$ , má v tomto intervalu rovnoměrné rozložení s hustotou pravděpodobnosti  $p(x) = 1$ .

Pro generování náhodných čísel byly vytvořeny algoritmy, které tvoří součást standardního vybavení každého počítače. S jejich pomocí lze vygenerovat tzv. pseudonáhodná čísla, jejich vlastností je skutečnost, že se s určitou periodou opakují.

### 3. Současná legislativa

#### 3.1. Pravidla provozování distribučních soustav, příloha číslo 2. [3]

Tato část pravidel provozování distribučních soustav (PPDS) definuje standard plynulosti distribuce elektřiny, pro jehož stanovení jsou podkladem příslušné údaje poskytované jednotlivými držiteli licence na distribuci a postup výpočtu uvedený v této příloze PPDS.

Spolehlivost a plynulost distribuce je jednou z nejdůležitějších charakteristik elektřiny dodávané zákazníkům distribučních soustav i přenosové soustavy.

**Hlavní cíle sledování spolehlivosti a plynulosti distribuce jsou získány z:**

- obecných (systémových) ukazatelů plynulosti distribuce v sítích nn, vn a 110 kV příslušného PDS,
- podkladů o spolehlivosti jednotlivých prvků v sítích PDS,
- podkladů pro spolehlivostní výpočty připojení velkoodběratelů,
- podkladů o plynulosti distribuce pro citlivé zákazníky.

**Obecný (systémový) standard plynulosti distribuce předepsaný pro tento účel ERÚ je definován následujícími ukazateli:**

- přerušení distribuce elektřiny daná počtem přerušení dodávek nebo distribuce elektřiny za kalendářní rok, (počet přerušení / rok / zákazníka),
- souhrnná doba trvání všech přerušení distribuce elektřiny v minutách za kalendářní rok (minut / rok / zákazníka),
- průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny v minutách v kalendářním roce (minut / přerušení).



**Předmětem tohoto sledování jsou ve smyslu vyhlášky ERÚ:**

- nahodilá (poruchová / neplánovaná) přerušení distribuce,
- plánovaná přerušení distribuce s trváním delším než 3 minuty (tzv. dlouhodobá přerušení distribuce ve smyslu ČSN EN 50160).

Tyto ukazatele charakterizují střední průměrnou hodnotu plynulosti distribuce a její důsledky z pohledu průměrného zákazníka. Budou využívány především ve vztahu k ERÚ, poradenským firmám i vzájemnému porovnání výkonnosti provozovatelů DS. Ve vztahu k běžným zákazníkům jsou však důležité meze, ve kterých se tyto ukazatele v DS (nebo v jejich některé části) pohybují a rozdělení jejich četnosti v DS jako celku i ve vybraných uzlech DS. Protože plynulost distribuce je závislá nejen na spolehlivosti prvků DS a plynulosti distribuce z PS příp. i zdrojů DS, ale i na organizaci činností při plánovaném i nahodilém přerušení distribuce, vybavení technickými prostředky pro lokalizaci poruch, způsobu provozu uzlu sítě, možnosti náhradního napájení apod., je důležité sledovat i tyto další okolnosti.

**Podklady o spolehlivosti zařízení a prvků distribučních soustav jsou:**

- poruchovosti jednotlivých zařízení a prvků,
- odstávky zařízení při údržbě a revizích,
- odstávky zařízení pro provozní práce na vlastním zařízení i zajištění bezpečnosti při pracích v blízkosti živých částí rozvodu.

Tyto podklady mohou sloužit jak pro posuzování vlastností již provozovaných zařízení (popř. i zařízení určitého typu vybraného dodavatele), při výběru nových zařízení a pro posuzování vhodného času pro rekonstrukci dožívajících zařízení, tak i pro spolehlivostní výpočty, volbu způsobu provozu uzlu sítě vn apod.

**Podklady pro spolehlivostní výpočty připojení velkoodběratelů jsou:**

- spolehlivost zařízení a prvků distribučních soustav,
- četnosti přerušení distribuce a jeho trvání v odběrných místech.

**Podklady o plynulosti distribuce pro zákazníka s citlivými technologiemi jsou:**

- četnost, hloubka a trvání napěťových poklesů (četnost, zbytkové napětí a trvání napěťových poklesů),
- četnost a trvání krátkodobých přerušení distribuce.

**METODIKA UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI ZAŘÍZENÍ A PRVKŮ**

Viz. kapitola 2.1.1. stanovení základních spolehlivostních údajů jednotlivých prvků.



## 3.2. Vyhláška č. 540-2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice [4]

Energetický regulační úřad (dále jen "Úřad") stanoví podle § 98 odst. 7 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění zákona č. 670/2004 Sb., k provedení § 17 odst. 7 písm. a) energetického zákona:

### ČÁST PRVNÍ, OBECNÁ ČÁST

#### § 1 Předmět úpravy

Tato vyhláška stanoví požadovanou kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, včetně výše náhrad za její nedodržení, postupy a lhůty pro uplatnění nároku na náhrady a postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb.

#### § 2 Základní pojmy

Pro účely této vyhlášky se rozumí

- a) přerušením přenosu nebo distribuce elektřiny** – stav v odběrném nebo předávacím místě účastníka trhu s elektřinou, při kterém není přenosová nebo distribuční soustava schopna dopravovat do tohoto místa elektřinu; za přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny není považován stav, jehož příčinou je elektrické zařízení zákazníka nebo elektrická přípojka, která není ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy a není provozovatelem distribuční soustavy provozována podle § 45 odst. 6 energetického zákona, nebo společné elektrické zařízení v nemovitosti,
- b) dlouhodobým přerušením** – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny s dobou trvání delší než 3minuty,
- c) plánovaným přerušením** – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny při provádění plánovaných prací na zařízení přenosové nebo distribuční soustavy nebo v jejich ochranném pásmu podle § 24 odst. 3 písm. c) bodu 6 a odst. 5 a § 25 odst. 4 písm. c) bodu 5 a odst. 6 energetického zákona,
- d) ukončením přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny** – okamžik obnovení schopnosti přenosové nebo distribuční soustavy dopravovat do odběrného nebo předávacího místa účastníka trhu s elektřinou elektřinu v množství a kvalitě podle technických norem a uzavřených smluv; ukončením přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny se rozumí i stav náhradního napájení odběrného nebo předávacího místa včetně případného omezení množství dodávané elektřiny, které je sjednáno ve smlouvě o distribuci elektřiny nebo ve smlouvě o sdružených službách dodávky elektřiny,
- e) dodavatelem sdružené služby** – výrobce nebo obchodník s elektřinou, který na základě smlouvy o sdružených službách dodávky elektřiny dodává elektřinu zákazníkovi.

## **ČÁST ČTVRTÁ, POSTUPY PRO VYKAZOVÁNÍ DODRŽOVÁNÍ KVALITY DODÁVEK A SLUŽEB**

### **§ 21 Ukazatele nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny**

1) Provozovatel přenosové soustavy a provozovatel distribuční soustavy vede záznamy o všech dlouhodobých přerušeních přenosu nebo distribuce elektřiny v jím provozované soustavě.

2) Ukazateli nepřetržitosti distribuce elektřiny jsou:

- průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období,
- průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období,
- průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období.

3) Ukazateli nepřetržitosti přenosu elektřiny jsou:

- průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v kalendářním roce,
- nedodaná elektrická energie v kalendářním roce.

4) Provozovatel distribuční soustavy vypočítává ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny uvedené v § 21 odst. 2. Provozovatel přenosové soustavy vypočítává ukazatele nepřetržitosti přenosu elektřiny uvedené v § 21 odst. 3.

5) Provozovatel přenosové soustavy vypočítává ukazatele nepřetržitosti přenosu elektřiny ze všech přerušení přenosu elektřiny ukončených v daném kalendářním roce, a to souhrnně za všechny napěťové hladiny. Provozovatel distribuční soustavy vypočítává ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny z přerušení distribuce elektřiny ukončených v hodnoceném období nebo v kalendářním roce, a to samostatně pro jednotlivé kategorie přerušení distribuce elektřiny a pro jednotlivé napěťové hladiny a celou distribuční soustavu. Kategorie přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny jsou uvedeny v příloze č. 4 k této vyhlášce. Způsob výpočtu ukazatelů nepřetržitosti přenosu elektřiny nebo distribuce elektřiny je uveden v příloze č. 5 k této vyhlášce.

### **§ 23 Vykazování dosahované úrovně kvality přenosu nebo distribuce elektřiny a souvisejících služeb**

1) Držitel licence zpracuje do 31. března následujícího kalendářního roku souhrnnou zprávu o:

- dosažené úrovni kvality distribuce elektřiny a souvisejících služeb za předchozí kalendářní rok, včetně porovnání s předcházejícím obdobím, podle přílohy č. 6 k této vyhlášce, jde-li o provozovatele distribuční soustavy,
- dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu elektřiny za předchozí kalendářní rok, včetně porovnání s předcházejícím obdobím, podle přílohy č. 7 k této vyhlášce, jde-li o provozovatele přenosové soustavy,
- dodržování standardů dodávek v předchozím kalendářním roce podle přílohy č. 8 k této vyhlášce, jde-li o dodavatele.

2) Provozovatel regionální distribuční soustavy<sup>8)</sup> předkládá v termínu podle odstavce 1 Úřadu v listinné i elektronické podobě souhrnnou zprávu podle odstavce 1 písm. a) a zároveň ji zveřejní způsobem umožňujícím dálkový přístup. Provozovatel lokální distribuční soustavy<sup>9)</sup> zveřejní souhrnnou zprávu podle odstavce 1 písm. a) způsobem umožňujícím dálkový přístup a předkládá ji na vyžádání Úřadu.

3) Provozovatel přenosové soustavy předkládá v termínu podle odstavce 1 Úřadu v listinné i elektronické podobě souhrnnou zprávu podle odstavce 1 písm. b) a zároveň ji zveřejní způsobem umožňujícím dálkový přístup.

4) Dodavatel s více jak 90 000 zákazníky předkládá v termínu podle odstavce 1 Úřadu v listinné i elektronické podobě souhrnnou zprávu podle odstavce 1 písm. c) a zároveň ji zveřejní způsobem umožňujícím dálkový přístup. Dodavatel s méně než 90 000 zákazníky zveřejní souhrnnou zprávu podle odstavce 1 písm. c) způsobem umožňujícím dálkový přístup a předkládá ji na vyžádání Úřadu.

5) Provozovatel regionální distribuční soustavy zpracovává měsíční zprávu o dodržování standardů distribuce elektřiny ve formě výkazů, jejichž vzory jsou uvedeny v přílohách č. 9 až 24 k této vyhlášce. Dodavatel s více jak 90 000 zákazníky zpracovává měsíční zprávu o dodržování standardů dodávek elektřiny ve formě výkazů, jejichž vzory jsou uvedeny v přílohách č. 25 a 26 k této vyhlášce. Provozovatel regionální distribuční soustavy a dodavatel předkládá měsíční zprávy Úřadu v elektronické podobě vždy do 90 dnů od posledního dne období, za které se výkaz zpracovává.

6) Úřad do 31. května následujícího kalendářního roku zpracuje a zveřejní zprávu o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny v Energetickém regulačním věstníku a způsobem umožňujícím dálkový přístup.

7) Dodavatel předkládá a zveřejňuje zprávu podle odstavců 4 a 5 za kalendářní rok, ve kterém dodával elektřinu více než 90 000 zákazníkům nebo takového počtu zákazníků v průběhu roku dosáhl.

## 4. Popis programu E-vlivy a programu Spoleh

### 4.1. Program E-vlivy

Program E-Vlivy řeší spolehlivost elektrických sítí a určení zpětných vlivů distribučních sítí pomocí simulační metody Monte-Carlo. Program dále umožňuje grafickou tvorbu sítí, je zde možné navolit prvky sítě jako je napájecí uzel, transformátor, vedení, zátěž, blokový transformátor, reaktor, tlumivka, asynchronní a synchronní motor, vypínač (pomocí kterého je možné deaktivovat případně aktivovat celé části sítě). Pro výpočet harmonické analýzy je možné také navolit zdroj proudu.

Program E-vlivy používá následující výpočetní metody:

- výpočty chodu sítě,
- výpočty chodu sítě s konstantním výkonem,
- výpočty nesymetrie,
- harmonickou analýzu,
- připojitelnost zátěže,
- výpočet flikru,
- útlum signálu HDO,
- frekvenční charakteristiku uzlu,
- výpočet zkratových poměrů,
- rozložení napětí před a po připojení posuzované zátěže.

Vzhledem k tomu, že k vypracování práce nebyl dodán program v rozšířené verzi, jsou možnosti a výpočetní metody omezené.

#### Vstupní spolehlivostní parametry prvků sítě

Nepovinný parametr	
Název vedení	V1

Parametry vedení	
Napětí	22
Druh	kabel
Typ	240ANKO
R/km [Ohm/km]	157
X/km [Ohm/km]	82
B/km [uS/km]	98
Imax [A]	371
Délka [km]	6

Databáze: Vložit Vybrat

Netočivá složka

OK Zrušit

Monte Carlo	
Četnost poruchových výpadků [1/rok]	14.5
Střední doba poruch. výpadku [h]	215
Četnost údržbových odstávek [1/rok]	0
Střední doba údržb. odstávek [h]	0
Zatížitelnost větve [MW]	7.7539

Obr. č. 1: Vstupní spolehlivostní parametry pro vedení programu E-vlivy

Obr. č. 2: Vstupní spolehlivostní parametry pro uzly programu E-Vlivy

Vstupní spolehlivostní parametry pro vedení obr. č.1 a parametry pro uzly obr. č.2 se zadávají dle směrnice ČEZ 22/80 a dopočítávají dle následujících vztahů

- četnost (intenzita) poruchových výpadků  $\lambda_p (rok^{-1})$ ,
- střední doba poruchového prostoje  $\tau_p (h)$ ,
- četnost (intenzita) údržby  $\lambda_U (rok^{-1})$ ,
- střední doba údržbového prostoje (odstávek)  $\tau_U (h)$ ,
- zatížitelnost – **transformátor** (zatížitelnost =  $S_t \cdot \cos\phi$  (MW)  
– **vedení** (zatížitelnost =  $U \cdot I_{MAX} \cdot \cos\phi$  (MW)
- doba využití maxima v uzlu  $T_{max}$  (hod/rok), uvažuje se pro výpočet nedodané energie,  $T_{max} = 8700$  (hod/rok)
- odebíraný výkon v uzlu  $P$  (MW), zátěž se odečítá od zdroje.

Výsledný výkon  $P > 0$  tzn. **odebíraný výkon v uzlu**,

$P < 0$  tzn. **dodávaný výkon do uzlu**.

## 4.2. Program Spoleh

Program Spoleh řeší spolehlivost elektrických sítí všech napěťových úrovní od přenosové soustavy až po síť nn. Jako vstupní údaje jsou zde zadávány spolehlivostní údaje ve formátu MS Excel jednotlivých uzlů jak je patrné na obr. č.3 a spolehlivostní údaje jednotlivých větví, viz obr. č.4.

List „Uzly“

Komentář  
Začátek dat

Jméno uzlu	$\lambda_p$ [rok <sup>-1</sup> ]	$\tau_p$ [h]	$\lambda_U$ [rok <sup>-1</sup> ]	$\tau_U$ [h]	Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Počet výpadků	Next	Odběr [MW]	$T_{max}$ [h.rok <sup>-1</sup> ]
U1	0	0	0	0	0	0	0	0	-190	8760
U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8760
U3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8760
U4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8760
U5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8760
U6	0	0	0	0	0	0	0	0	70	8760
U7	0	0	0	0	0	0	0	0	-190	8760
U8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8760
U9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8760

Obr. č.3: Zadávání vstupních údajů jednotlivých uzlů

## List „Větve“

Komentář

Začátek dat

Typ větve	Jméno větve (oblasti)	Tman, T-kus, Typ oblasti	Z uzlu (Tman)	Do uzlu	Jednosměrná	$t_p$ [rok <sup>-1</sup> ]	$t_b$ [h]	$t_u$ [rok <sup>-1</sup> ]	$t_d$ [h]	Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Počet výpadků	Next	Zatížitelnost [MW]
W	O1	0												
V	V1		U1	U2	PRAVDA	0,02	30	1	120	0	0	0	0	190
W	O1	0												
V	V2		U2	U3	NEPRAVDA	2,62	4,236641	1	200	0	0	0	0	82
W	O1	0												
R	V2	0,1												
W	O1	0												
V	V4		U3	U4	NEPRAVDA	1,58	4,721519	1	120	0	0	0	0	52
W	O1	0												
V	V5		U3	U4	NEPRAVDA	1,58	4,721519	1	120	0	0	0	0	52
T	V6	V7	U4	U5	NEPRAVDA	1,05	4,419048	0,333333	80	0	0	0	0	72
T	V7	V8	U4	U5	NEPRAVDA	1,05	4,419048	0,333333	80	0	0	0	0	72
T	V8	V6	U5	U6	PRAVDA	0,53	5,320755	0,333333	16	0	0	0	0	72
W	O1	1												
V	V9		U7	U8	PRAVDA	0,02	30	1	120	0	0	0	0	190
W	O1	1												
V	V10		U8	U9	NEPRAVDA	2,1	4,419048	1	160	0	0	0	0	91
W	O1	1												
Z	V10	0,3	0,4			2,62	4,236641	1	200	0	0	0	0	72
W	O1	1												
V	V12		U9	U4	NEPRAVDA	3,14	4,11465	1	240	0	0	0	0	72

Obr. č. 4: Zadávání vstupních údajů jednotlivých uzlů

Program také zahrnuje do výpočtu i výkonovou bilanci, je proto nutné zadat odebíraný  $P > 0$  nebo dodávaný  $P < 0$  výkon. U každé větve je potřeba zadat její výkonovou průchodnost. Do výpočtu větve lze zadávat jako klasické nebo je možno zadávat dva druhy záložních studená rezerva R a Z, lze zadat také odbočky vedení typu „T“.

Do každého manipulačního bodu (tj. do bodu, kde je připojena hlavní napájecí oblast a záložní oblast) je možno simulovat připojení jedné hlavní napájecí oblasti a dvou záložních napájecích oblastí.

Výsledkem výpočtu je pak celková výkonová bilance řešené sítě a výsledné spolehlivostní parametry všech uzlů. Dále program určí pro všechny uzly pravděpodobně nedodanou elektrickou energii a celkovou hodnotu pravděpodobně nedodané elektrické energie v uzlech.

Výpočet je proveden metodou simulace Monte-Carlo. Na počátku simulace se předpokládá, že všechny prvky sítě jsou v chodu. Je tedy potřeba pro každý prvek vygenerovat náhodnou veličinu reprezentující okamžik jeho výpadku. Z vygenerovaných veličin se vybírá ta nejmenší, v modelu se provede příslušná změna a vyhodnotí se nový stav soustavy. Pro prvek, jehož se změna týkala, se vygeneruje nová hodnota - tentokrát uvedení do provozu a ta se zařadí do fronty čekajících událostí. Systémový čas se posune do nového bodu - okamžiku změny. Z fronty čekajících událostí se vybere ta první a celý děj se opakuje, dokud není proveden patřičný počet pokusů. Pokud je již proveden patřičný počet pokusů, je potřeba provést závěrečné operace.

### Vyhodnocení spolehlivosti větví

Zjištění spolehlivosti větví je jedním ze dvou cílů simulace. Větví se rozumí zapojení definované jako jeden prvek, např. sériově zapojený vypínač – transformátor – vypínač nebo dva paralelní potahy vedení. V průběhu simulace se sčítá doba, pro kterou je větev v chodu a na závěr je k dispozici celková doba dosažená v průběhu procesu.

Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Celkový počet provedených iterací	Dosažený čas [rok]
3772.30834152	18.825905627897	1000000	3791.13424
Intenzita výpadků [1/rok]	Střední doba výpadků v [h]		
14.8295988310	2.9333333327472		
Předěpodobnost bezporuchového chodu	Počet výpadků	Z uzlu	Jméno větve
0.995034228702919	56221	U4	V1 V1 V2 V3 V4
		Do uzlu	
		U5	

Obr. č. 5: Vyhodnocení spolehlivosti větví

### Vyhodnocení spolehlivosti uzlů

Vyhodnocení spolehlivosti dodávky v uzlech je respektive hlavním důvodem, proč se výpočet provádí. Ovšem není to záležitost tak jednoduchá jako v případě větví. Abychom byli schopni rozhodnout, zda je uzel v normálním chodu nebo ve výpadku, musí se v každém kroku simulace vyhodnocovat stav celé sítě.

Má-li uzel odběr  $P_i$  a součet zatížitelností větví vedoucích do tohoto uzlu  $\Sigma P_{ij}$  je větší než tento odběr, je vše v pořádku. V opačném případě je uzel považován za odpojený.

Při vyhodnocování je potřeba uvažovat směr, kterým je každá větev schopna přenášet výkon. V modelu sítě se vedle sebe totiž vyskytují jak větve „obousměrné“, tak větve „jednosměrné“, u kterých se předpokládá tok výkonu pouze jedním směrem, jako například distribuční transformátory vvn/vn. Je nutno si uvědomit, že se jedná o větve modelu, nesouvisí to s fyzikální schopností větve přenášet výkon.

Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Celkový počet provedených iterací	Dosažený čas [rok]
3769.97251630	21.161730850014	1000000	3791.13424
Intenzita výpadků [1/rok]	Střední doba výpadků v [h]	Počet výpadků	
17.0073112152	2.8750835529899	64477	
Předěpodobnost bezporuchového chodu	Roční nedodávka [GWh]	Jméno uzlu	
0.994418100370384	4.8897440755439	U1 U2 U3 U4 U5	

Obr. č. 6: Vyhodnocení spolehlivosti uzlů

**Souhrn výsledků**

Počet simulací: 1000000

Roční výpadky uzlů [GWh]: 6.378748220240

Roční nepokrytí odběrů kvůli nedostatku zdrojů [MWh]: 0

a z toho plynoucí zajištěnost: 1

OK

Obr. č. 7: Souhrn výsledků vyhodnocení spolehlivosti.

## 5. Výpočet spolehlivosti daných oblastí

Výpočet spolehlivosti pomocí software Spoleh se týkal následujících oblastí

- Oblast č.1, viz příloha č. 1: IEE Reliability Test Systém,
- Oblast č.2, viz příloha č.2: Simple scheme,
- Oblast č.3, viz příloha č.3: VN 253,
- Oblast č.4, viz příloha č.4: Zaklad.

Spolehlivostní hodnoty větví a uzlů se v programu Spoleh zadávají v prostředí MS EXCEL.

Spolehlivostní údaje větví  $\lambda_p$ ,  $\tau_p$ ,  $\lambda_U$ ,  $\tau_U$ , se u všech oblastí se zadávají dle směrnice ČEZ 22/80, dále se zadává typ větve (V,R,Z), v našem případě vždy typ V, dále pak jméno oblasti, jméno počátečního a koncového uzlu větve, údaj o jednosměrnosti ( PRAVDA – větev vede pouze jedním směrem, NEPRAVA – větev vede oběma směry) a nakonec zatížitelnost větve (viz 5.1. program E-vlivy)

Ke spolehlivostním údajům uzlům se zadává jméno uzlu, odběr v uzlu ( viz 4.1. program E-vlivy) a dále  $T_{MAX}$ .

U oblasti č. 1 byly díky publikaci IEEE RTS z roku 1979 k dispozici spolehlivostní údaje pro větve-  $\lambda_p$ ,  $\tau_p$ , a zatížitelnost pro větve. Díky tomu mohlo dojít k porovnání vstupních spolehlivostních údajů dle ČEZ 22/80 a vstupní spolehlivostních údajů zveřejněných v IEEE RTS z roku 1979.



## PŘEHLED VÝSLEDKŮ UZLŮ DANÝCH OBLASTÍ:

### 5.1. Oblast č. 1.

Spolehlivostní parametry dle IEEE

**Tabulka 3: Výsledky oblasti č. 1 uzlů s parametry dle IEEE**

Jméno uzlu	Počet výpadků	Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Intenzita výpadků [1/rok]	Střední doba výpadků [h]	Pravděpodobnost bezporuchového chodu	Roční nedodávka [GWh]
U1	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U2	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U3	119	3570.16	0.02	0.03	1.82	1.00	0.01
U4	118	3570.16	0.02	0.03	1.73	1.00	0.00
U5	106	3570.16	0.02	0.03	1.85	1.00	0.00
U6	272	3570.08	0.10	0.08	3.37	1.00	0.03
U7	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U8	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U9	3	3570.18	0.00	0.00	1.43	1.00	0.00
U10	5	3570.18	0.00	0.00	1.08	1.00	0.00
U11	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U12	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U13	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U14	41	3570.17	0.01	0.01	2.28	1.00	0.01
U15	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U16	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U17	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U18	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U19	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U20	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U21	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U22	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U23	0	3570.18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U24	483	3569.93	0.26	0.14	4.71	1.00	0.00

**Celkový počet interací**

1 000 000

**Roční výpadky uzlů**

0,059078 (GWh)

**Roční nepokrytí odběrů kvůli nedostatku zdrojů**

0 (MWh)

**Dosažený čas**

3570,185 (rok)

Spolehlivostní parametry dle IEE bez uvažování  $\lambda_U$ ,  $\tau_U$ ,

**Tabulka č.4: Výsledky oblasti č. 1 uzlů s parametry dle IEEE bez uvažování  $\lambda_U$ ,  $\tau_U$**

Jméno uzlu	Počet výpadků	Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Intenzita výpadků [1/rok]	Střední doba výpadků [h]	Pravděpodobnost bezporuchového chodu	Roční nedodávka [GWh]
U1	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U2	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U3	112	4805.57	0.02	0.02	1.72	1.00	0.01
U4	110	4805.57	0.02	0.02	1.82	1.00	0.00
U5	95	4805.58	0.02	0.02	1.75	1.00	0.00
U6	299	4805.48	0.11	0.06	3.33	1.00	0.03
U7	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U8	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U9	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U10	5	4805.59	0.00	0.00	1.83	1.00	0.00
U11	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U12	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U13	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U14	37	4805.58	0.01	0.01	2.42	1.00	0.00
U15	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U16	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U17	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U18	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U19	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U20	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U21	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U22	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U23	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U24	1	4805.59	0.00	0.00	0.11	1.00	0.00

**Celkový počet interací**

1 000 000

**Roční výpadky uzlů**

0,008 (GWh)

**Roční nepokrytí odběrů kvůli nedostatku zdrojů**

0 (MWh)

**Dosažený čas**

14401,24 (rok)

Spolehlivostní parametry dle ČEZ 22/80 uvažování  $\lambda_U$ ,  $\tau_U$

**Tabulka č. 5: Výsledky oblasti č. 1 uzlů s parametry dle ČEZ bez uvažování  $\lambda_U$ ,  $\tau_U$**

Jméno uzlu	Počet výpadků	Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Intenzita výpadků [1/rok]	Střední doba výpadků [h]	Pravděpodobnost bezporuchového chodu	Roční nedodávka [GWh]
U1	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U2	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U3	112	4805.57	0.02	0.02	1.72	1.00	0.01
U4	110	4805.57	0.02	0.02	1.82	1.00	0.00
U5	95	4805.58	0.02	0.02	1.75	1.00	0.00
U6	299	4805.48	0.11	0.06	3.33	1.00	0.03
U7	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U8	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U9	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U10	5	4805.59	0.00	0.00	1.83	1.00	0.00
U11	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U12	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U13	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U14	37	4805.58	0.01	0.01	2.42	1.00	0.00
U15	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U16	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U17	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U18	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U19	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U20	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U21	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U22	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U23	0	4805.59	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U24	1	4805.59	0.00	0.00	0.11	1.00	0.00

**Celkový počet interací**

1 000 000

**Roční výpadky uzlů**

0,044595 (GWh)

**Roční nepokrytí odběrů kvůli nedostatku zdrojů**

0 (MWh)

**Dosažený čas**

4805,594 (rok)

## 5.2. Oblast č. 2

Tabulka č. 6: Výsledky oblasti č. 2 uzlů

Jméno uzlu	Počet výpadků	Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Intenzita výpadků [1/rok]	Střední doba výpadků [h]	Pravděpodobnost bezporuchového chodu	Roční nedodávka [GWh]
U1	0.00	3779.56	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U2	5932.00	3757.83	21.73	1.57	32.08	0.99	0.00
U3	78090.00	3753.50	26.06	20.66	2.92	0.99	0.00
U4	64572.00	3758.32	21.24	17.08	2.88	0.99	0.00
U5	49885.00	3763.38	16.18	13.20	2.84	1.00	0.00
U6	34080.00	3768.65	10.91	9.02	2.80	1.00	0.00
U7	17471.00	3774.03	5.53	4.62	2.77	1.00	0.00
U8	0.00	3779.56	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U9	120427.00	3739.50	40.06	31.86	2.91	0.99	0.00
U10	175358.00	3720.91	58.65	46.40	2.93	0.98	0.00
Ufve	229800.00	3702.40	77.16	60.80	2.94	0.98	0.00
Uq	0.00	3779.56	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

**Celkový počet interací**

1 000 000

**Roční výpadky uzlů**

$6,3 \cdot 10^{-7}$  (GWh)

**Roční nepokrytí odběrů kvůli nedostatku zdrojů**

0 (MWh)

**Dosažený čas**

3779,56 (rok)

### 5.3. Oblast č. 3

Tabulka č. 7: Výsledky oblasti č. 3 uzlů

Jméno uzlu	Počet výpadků	Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Intenzita výpadků [1/rok]	Střední doba výpadků [h]	Pravděpodobnost bezporuchového chodu	Roční nedodávka [GWh]
U1	0.00	683.15	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U2	712.00	669.71	13.44	1.04	165.38	0.98	0.00
U3	10686.00	666.37	16.78	15.64	13.76	0.98	0.00
U4	20582.00	663.04	20.11	30.13	8.56	0.97	0.00
U6	30521.00	659.67	23.48	44.68	6.74	0.97	0.00
U7	40144.00	656.39	26.76	58.76	5.84	0.96	0.00
U10	40342.00	656.33	26.82	59.05	5.82	0.96	0.00
U12	50126.00	652.99	30.16	73.37	5.27	0.96	0.00
U13	59730.00	649.69	33.46	87.43	4.91	0.95	0.00
U15	69049.00	646.47	36.68	101.07	4.65	0.95	0.00
U16	78228.00	643.27	39.88	114.51	4.47	0.94	0.00
U17	87467.00	640.04	43.11	128.03	4.32	0.94	0.00
U19	96575.00	636.86	46.29	141.37	4.20	0.93	0.00
U21	105576.00	633.69	49.46	154.54	4.10	0.93	0.00
U23	114472.00	630.53	52.62	167.56	4.03	0.92	0.00
U24	105610.00	633.67	49.48	154.59	4.10	0.93	0.00
U26	114502.00	630.51	52.64	167.61	4.03	0.92	0.00
U28	123283.00	627.38	55.78	180.46	3.96	0.92	0.00
U29	132021.00	624.25	58.90	193.25	3.91	0.91	0.00
U32	132034.00	624.24	58.91	193.27	3.91	0.91	0.00
U34	140751.00	621.11	62.04	206.03	3.86	0.91	0.00
U36	149308.00	618.01	65.14	218.56	3.82	0.90	0.00
U37	157729.00	614.94	68.21	230.88	3.79	0.90	0.00
U39	165981.00	611.92	71.23	242.96	3.76	0.90	0.00
U41	174303.00	608.86	74.29	255.15	3.73	0.89	0.00
U44	20571.00	663.04	20.11	30.11	8.56	0.97	0.00
U46	30419.00	659.71	23.44	44.53	6.75	0.97	0.00
U48	140738.00	621.12	62.03	206.01	3.86	0.91	0.00
U49	149346.00	618.00	65.15	218.61	3.82	0.90	0.00
U_1410	30305.00	659.75	23.41	44.36	6.77	0.97	0.00
U_1071	40251.00	656.37	26.78	58.92	5.83	0.96	0.00
U_654	30348.00	659.73	23.42	44.42	6.76	0.97	0.00
U_960	49526.00	653.18	29.97	72.50	5.30	0.96	0.00
U_1069	49678.00	653.13	30.02	72.72	5.29	0.96	0.00
U_1321	49875.00	653.07	30.08	73.01	5.28	0.96	0.00
U_1137	69246.00	646.39	36.76	101.36	4.65	0.95	0.00
U_681	96390.00	636.90	46.25	141.10	4.20	0.93	0.00
U_51	105591.00	633.69	49.46	154.56	4.10	0.93	0.00
U_58	114542.00	630.51	52.64	167.67	4.03	0.92	0.00
U_52	114704.00	630.45	52.70	167.90	4.02	0.92	0.00
U_576	123278.00	627.38	55.77	180.45	3.96	0.92	0.00

U_218	140581.00	621.15	62.00	205.78	3.86	0.91	0.00
U_54	140703.00	621.11	62.04	205.96	3.86	0.91	0.00
U_4	157718.00	614.96	68.19	230.87	3.79	0.90	0.00
U_3	157756.00	614.95	68.21	230.92	3.79	0.90	0.00
U_647	140600.00	621.16	61.99	205.81	3.86	0.91	0.00
U_53	149188.00	618.06	65.09	218.38	3.82	0.90	0.00
U_0214	166247.00	611.83	71.33	243.35	3.76	0.90	0.00
U_1175	174476.00	608.79	74.36	255.40	3.73	0.89	0.00
U_1172	182521.00	605.80	77.36	267.17	3.71	0.89	0.00
U_0217	182650.00	605.78	77.37	267.36	3.71	0.89	0.00

**Celkový počet interací**

1 000 000

**Roční výpadky uzlů**

$3,05 \cdot 10^{-5}$  (GWh)

**Roční nepokrytí odběrů kvůli nedostatku zdrojů**

0 (MWh)

**Dosažený čas**

683,1516 (rok)

## 5.4. Oblast č. 4

Tabulka č. 8 : Výsledky oblasti č. 4 uzlů

Jméno uzlu	Počet výpadků	Čas v chodu [rok]	Čas ve výpadku [rok]	Intenzita výpadků [1/rok]	Střední doba výpadků [h]	Pravděpodobnost bezporuchového chodu	Roční nedodávka [GWh]
U1	0	1029.14	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U2	2762	1028.21	0.93	2.68	2.96	1.00	0.04
U3	3813	1028.07	1.07	3.71	2.45	1.00	0.00
U4	4539	1028.00	1.14	4.41	2.21	1.00	0.00
U5	4969	1027.97	1.17	4.83	2.07	1.00	0.00
U6	5113	1028.00	1.14	4.97	1.96	1.00	0.00
U7	4904	1028.09	1.05	4.77	1.88	1.00	0.00
U8	4546	1028.19	0.95	4.42	1.82	1.00	0.00
U9	3875	1028.35	0.79	3.77	1.79	1.00	0.00
U10	2852	1028.57	0.57	2.77	1.75	1.00	0.00
U11	1605	1028.82	0.32	1.56	1.73	1.00	0.00
U12	0	1029.14	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
U13	15297	1024.02	5.12	14.86	2.93	1.00	0.00
U14	30522	1018.89	10.25	29.66	2.94	0.99	0.01
U15	45473	1013.83	15.31	44.19	2.95	0.99	0.01
U16	60381	1008.76	20.38	58.67	2.96	0.98	0.00
U17	75386	1003.64	25.50	73.25	2.96	0.98	0.02
U18	90080	998.59	30.55	87.53	2.97	0.97	0.00
U19	104470	993.62	35.52	101.51	2.98	0.97	0.03
U20	118644	988.70	40.45	115.28	2.99	0.96	0.02
U21	132858	983.73	45.41	129.10	2.99	0.96	0.05
U22	146727	978.86	50.28	142.57	3.00	0.95	0.06
U23	118272	719.49	309.65	114.92	22.94	0.70	0.48
U24	95326	532.69	496.45	92.63	45.62	0.52	0.00
U25	75139	1003.73	25.41	73.01	2.96	0.98	0.00
U26	89638	998.75	30.39	87.10	2.97	0.97	0.02
U27	18196	1023.43	5.71	17.68	2.75	0.99	0.00
U28	33534	1018.27	10.88	32.58	2.84	0.99	0.01
U29	48656	1013.15	15.99	47.28	2.88	0.98	0.02
U30	63700	1008.03	21.11	61.90	2.90	0.98	0.02
U31	78432	1003.00	26.14	76.21	2.92	0.97	0.00
U32	93118	997.95	31.19	90.48	2.93	0.97	0.02
U33	107645	992.93	36.21	104.60	2.95	0.96	0.06
U34	92890	998.03	31.11	90.26	2.93	0.97	0.03
U35	104294	993.70	35.45	101.34	2.98	0.97	0.00
U36	0.00	1029.14	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

**Celkový počet interací**

1 000 000

**Roční výpadky uzlů**

0,909322 (GWh)

**Roční nepokrytí odběrů kvůli nedostatku zdrojů**

0 (MWh)

**Dosažený čas**

1029,141 (rok)

## 6. Závěr

V teoretické části bakalářské práce jsem popsal teoretický rozbor výpočtu spolehlivosti. Popsal jsem několik způsobů jak se získávají spolehlivostní údaje, snažil jsem se srovnávat starší údaje s údaji z aktuálních databází. Dále jsem uvedl základní vztahy pro výpočet spolehlivosti jednotlivých prvků distribuční soustavy. Poté jsem uvedl metody výpočtu spolehlivosti, začal jsem jednoduchými metodami spolehlivostních schémat, které se v elektroenergetice již moc nepoužívají, protože nedokážou zahrnout údržbové prostoje a do výpočtu nelze zahrnout manipulační čas. Pokračoval jsem metodou modifikovaných spolehlivostních schémat, která je srovnatelná s často používanou simulační metodou Monte-Carlo. Tato simulační metoda je v kapitole také popsána.

V další kapitole jsem se zabýval současnou legislativou týkající se spolehlivosti a kvality dodávky elektřiny. Zmínil jsem zde pravidla provozování distribučních soustav, zejména pak přílohu č.2, která se zabývá plynulostí a spolehlivostí distribuce elektrické energie, což je jednou z nejdůležitějších charakteristik elektřiny dodávané zákazníkům. Dále jsem v této kapitole řešil vyhlášku č. 540-2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb, tato vyhláška se však s platností od 4. února 2010 mění za vyhlášku ERÚ č. 41/2010 Sb. Uvedl jsem jen některé pro tuto práci přínosné části vyhlášky.

V praktické části se věnuji výpočtům spolehlivosti zadaných oblastí. Spolehlivost se zde vypočítává pomocí simulační metody Monte-Carlo, k výpočtu jsou k dispozici programy E-vlivy a Spoleh, s tím že program E-vlivy nemá rozšířenou verzi, pro výpočet. V této kapitole je popsáno jakým způsobem se doplňují spolehlivostní parametry do sítí a jakým způsobem se další parametry dopočítávají. Dále jsem zde srovnával vstupní spolehlivostní parametry dle směrnice ČEZ 22/80 se vstupními parametry publikované v IEEE RTS z roku 1979. Z praktického hlediska se jeví jako nejspolehlivější oblast číslo. 1, což je dáno velkým počtem zdrojů.



## Literatura

- [1] TŮMA, Jiří, et al. *Spolehlivost v elektroenergetice*. 1. Příbram : Tiskárna PB Tisk, 2005. 291 s. ISBN 80-239-6483-6.
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. 1. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 208 s. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [3] *E.ON-Energetická legislativa* [online]. 2010 [cit. 2010-05-06]. E.ON-Energetická legislativa. Dostupné z WWW: <<http://www.eon.cz/cs/info/legislative/index.shtml>>.
- [4] *E.ON Distribuce, a.s.* [online]. 2008 [cit. 2010-05-06]. E.ON Distribuce, a.s. - Předpisy. Dostupné z WWW: <<http://www.eon-distribuce.cz/cs/distribuce-elektriny/predpisy.shtml>>.